

# 内蒙古苏尼特左旗北达布锡勒图岩体主微量元素地球化学特征及成因探讨

杨永胜 孙柏年 康鸿杰 邢伟伟 李小强 何文龙 王 磊

(兰州大学 资源环境学院, 甘肃 兰州 730000)

**摘要:** 达布锡勒图岩体位于华北板块与西伯利亚板块兴蒙造山带中的二连—贺根山缝合线北侧附近。通过对岩体各类岩性样品进行稀土和微量元素含量分析, 结果显示, 花岗闪长岩类(包括黑云花岗闪长岩和花岗闪长岩)成因类型为 I-S 过渡型花岗岩, 成岩岩浆可能为大洋俯冲板片和上覆陆壳变杂砂岩部分熔融的混合岩浆, 花岗岩类(包括二长花岗岩、黑云花岗岩和钾长花岗岩)为 S-型花岗岩, 原岩为变质泥岩, 均产于大陆弧构造环境, 非埃达克质岩石。

**关键词:** 苏尼特左旗; 达布锡勒图岩体; 地球化学特征; 花岗岩成因; 大陆弧

**中图分类号:** P588.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2011)02-0301-16

华北板块与西伯利亚板块的碰撞缝合形成兴蒙造山带, 由于其构造演化的复杂性经历了近 50 年的逐步认识, 主要集中于二者的碰撞缝合线或最终缝合线以及各自的缝合时间问题, 并由此引出对碰撞过程和方式的探讨。

内蒙古中北部地区由西向东在索伦山、二连浩特、苏尼特左旗南、温都尔庙、贺根山、锡林浩特、林西及西拉木伦出露有多处蛇绿岩或混杂岩<sup>[1]</sup>, 这些蛇绿岩或混杂岩的先后发现和其断续分布是造成对华北板块和西伯利亚板块的缝合线认识多样的一个重要方面, 这也说明在两板块之间应存在多条缝合线, 经历多次碰撞缝合, 许多学者对此做出假设解释: 两板块之间存在次一级的褶皱带<sup>[2,3]</sup>或中、小块体的拼合<sup>[4]</sup>, 经历多岛海构造演化<sup>[5]</sup>等。

二连—贺根山蛇绿岩带是兴蒙造山带内所发现的北部一条蛇绿岩带, 多年来对其研究多集中于苏尼特左旗南部地区, 众多学者从地层、构造和侵入岩方面进行了研究; 来自变质岩、混杂岩及构造变形的证据表明, 沿贺根山—苏尼特左旗南是一条中古生代的缝合线<sup>[6]</sup>; 有的学者认为其可能形成于印支

期<sup>[7]</sup>; 古生物地层学研究显示该地区在早二叠世受古亚洲洋向北俯冲作用的影响, 华北板块与西伯利亚板块最终碰撞拼合至少发生在中二叠世之后<sup>[8-12]</sup>; 而对出露于该区的各类侵入岩研究显示, 侵入岩自早古生代至早中生代均有发育<sup>[13]</sup>, 其中古生代多发育与俯冲作用有关的花岗岩<sup>[14,15]</sup>, 自晚二叠世开始出现与碰撞作用有关的花岗岩<sup>[16,17]</sup>, 自三叠纪开始出现与碰撞后拉张环境有关的 A 型花岗岩<sup>[18]</sup>。而施光海<sup>[19]</sup>对锡林浩特南 A 型花岗岩的研究认为苏尼特左旗—锡林浩特构造带在早二叠世可能已经进入后造山演化阶段。可见人们对这一缝合带的形成时间尚存在争议。本区域二叠纪构造演化较为复杂, 因此有必要做进一步的研究。

苏尼特左旗北部地区位于查干敖包—阿荣旗北东东向超岩石圈深断裂带的北侧, 基于其所处构造位置的特殊性, 想要全面深入地认识华北板块和西伯利亚板块的构造演化, 就应当对同属于兴蒙造山带内的这一区域给予应有的重视, 然而至今本区域的研究很少<sup>[20]</sup>。本文对苏尼特左旗北达布锡勒图花岗岩体特征及其产出的构造环境进行探讨, 以期能

为精细华北板块与西伯利亚板块之间的碰撞缝合过程提供佐证。

## 1 研究区地质概况

研究区位于内蒙古中北部中蒙边境地区,大地构造上属于兴蒙造山区东乌珠穆沁旗早华力西造山带,东乌旗复背斜东南翼<sup>[21,22]</sup>。该区处于早古生代早期形成的查干敖包—阿荣旗北东东向超岩石圈深断裂带的北侧,该断裂带为华北板块洋壳向北俯冲于西伯利亚板块呈安第斯山型接触的古板块俯冲带,研究区即属于西伯利亚板块东南缘俯冲形成的陆壳增生区。中生代受西太平洋板块向北俯冲作用的影响,形成大量火山岩<sup>[4,21,23-24]</sup>。

研究区内总体构造线呈近北东向至北东东向。褶皱和断层构造比较发育,主要见于南部和中部,其间分布有达布锡勒图褶皱断带,北部则以中生代火山盆地发育为特点。

区内地层发育古生界中上泥盆统、石炭系上统—二叠系下统,中生界侏罗系上统,新生界始新统、更新统和全新统。其中石炭系上统—二叠系下统宝力高庙组分布最广,为陆相中酸性火山碎屑岩(少熔岩)、正常碎屑岩和浅变质岩。侏罗系上统白音高老组在本区内为杂色酸性火山碎屑岩、熔岩和熔结凝灰岩夹中酸性火山碎屑岩、火山碎屑沉积岩<sup>[23]</sup>。

侵入岩十分发育,为华力西晚期侵入岩体,酸性—中酸性,与区域构造线方向一致,呈北东向展布。石英闪长岩和闪长岩岩体( $P_1\delta$ ),分布于达布锡勒图西,呈小岩株或捕虏体产出。岩石主要为自形—半自形中细粒结构,岩体原生构造均已不易辨认,次生节理发育,沿节理有脉岩贯入,受后期花岗岩侵入影响,岩体普遍发生蚀变,见有绢云母化、碳酸岩化、褐铁矿化及绿泥石化等;花岗闪长岩岩体( $P_1\gamma\delta$ ),局部为黑云二长花岗岩和黑云花岗岩,沿红旗队(达布锡勒图)—查干德尔斯—一线呈北东向条带状断续出露,呈岩基和不规则岩株状产出,面积约 264 km<sup>2</sup>,沿着达布锡勒图断裂褶皱带侵入于晚石炭世—早二叠世宝力高庙组( $C_2P_1bl$ )火山岩地层之中。岩石为中细粒—中粗粒结构,内、外接触带均不明显,岩体内节理、断裂、脉岩均较发育,局部受构造挤压片理化;二长花岗岩岩体( $P_1\eta\gamma$ ),局部为黑云花

岗岩和钾长花岗岩,分布于达布锡勒图断褶带北部,萨热包尔萨热图、巴哈他及巴润尚德等地,岩体与围岩界线一般比较平直,单个岩体规模不大,多为细粒和中细粒结构。岩体分带性较差,原生流动构造不发育,岩石次生节理和脉岩较发育。脉岩主要为花岗斑岩、石英斑岩、霏细斑岩等。围岩蚀变较弱,一般为绢云母化、绿泥石化、硅化等,未形成稳定的蚀变带,岩石球状风化较强烈;钾长花岗岩岩体( $P_1\xi\gamma$ ),有花岗岩和二长花岗岩,分布于达布锡勒图断褶带一线和其北部,呈不规则岩株产出,岩石主要为细粒结构,岩体内部原生流动构造不是很发育,岩体与围岩接触面总体外倾,围岩具角岩化,内接触带不明显,局部轻度绿帘石化,局部接触面附近见混染带,岩脉发育有细晶岩脉、花岗斑岩脉、闪长岩脉、闪长玢岩脉、二长岩脉及霏细岩脉,普遍具球状风化;另见斜长花岗岩和花岗闪长质伟晶岩。其中以花岗闪长岩岩体和钾长花岗岩岩体出露面积最大,分布最为广泛,为研究区侵入岩体(图 1)。

## 2 岩石特征

达布锡勒图岩体出露面积约 30 km<sup>2</sup>,由达布锡勒图西闪长岩、哈尔努如呼和温多尔黑云花岗岩、查古音巴彦和花敖包吐黑云钾长花岗岩椭圆状或不规则状岩株,以及达布锡勒图(黑云)花岗闪长岩不规则岩基组成,与区域临近岩体(达莱岩体、呼都格舒图岩体及查干敖包庙岩体<sup>①</sup>)一致,大体呈北东方向展布。岩体流面产状沿接触边界外倾西北侧倾角较缓,东南侧倾角较陡,岩体为接触面外倾的穹隆状岩基,岩石以中粒和粗中粒结构为主,原生、次生节理较发育。断裂构造发育,主要为垂直于主构造线方向的次一级断裂。岩体内脉岩发育,专属性脉岩为(黑云)花岗闪长岩和花岗(斑)岩脉,区域性脉岩主要为正长斑岩脉、闪长(玢)岩脉,另有辉绿玢岩脉、石英脉等。岩体常见有帘石化、绢云母化、白云母化、硅化、绿泥石化及高岭土化等蚀变。岩体主要岩石类型特征如下:

花岗闪长岩:浅灰略带粉色,风化面灰白色,中粒—粗粒花岗结构,块状构造。主要矿物:斜长石含量 40%~60%,多为中长石,少数为更长石,粒度 0.5~10 mm,板状半自形晶,大多具密集的聚片双晶,见有很

①内蒙古自治区地质调查院,区域地质调查报告 1:20 万巴音乌拉幅(归档资料),1980。

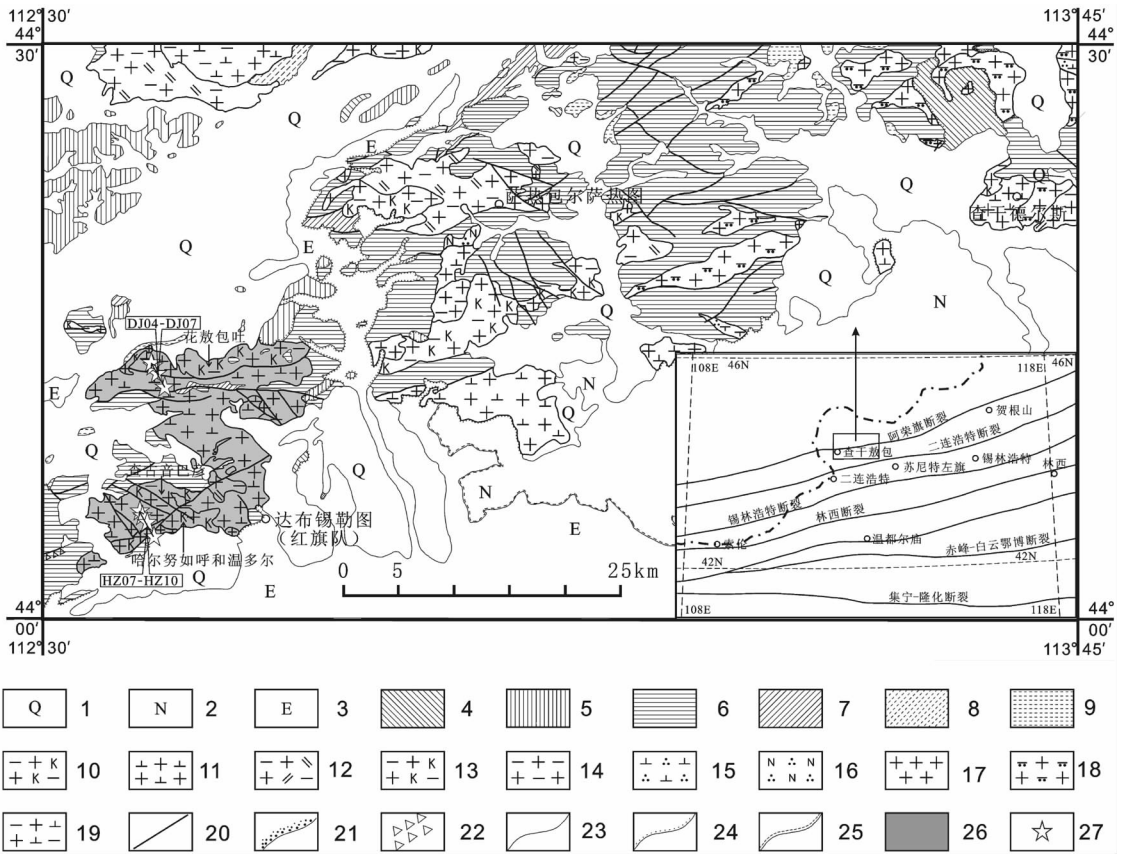


图 1 研究区地质简图及大地构造位置(据 1:20 万巴音乌拉幅区域地质调查报告和李鹏武(2005)<sup>①</sup>修改<sup>②</sup>)  
 1—第四系;2—新近系;3—古近系;4—白垩系;5—侏罗系;6—石炭—二叠系;7—泥盆系;8—奥陶系;9—第四纪玄武岩;  
 10—黑云母正长花岗岩;11—花岗闪长岩;12—黑云母二长花岗岩;13—黑云母钾长花岗岩;14—黑云母花岗斑岩;15—石英闪长  
 岩;16—石英钠长斑岩;17—碱长花岗岩;18—碱性花岗岩;19—黑云母花岗闪长岩;20—断层;21—角岩化接触界线;  
 22—构造破碎带;23—地层及侵入岩接触界线;24—角度不整合界线;25—平行不整合界线;26—达布锡勒图岩体;27—采样位置  
 Fig.1 Simplified geological map of the study area and tectonic position(simplified after Bayinwula map sheet of 1:200,000  
 regional geological maps<sup>①</sup> and Li Pengwu(2005)<sup>②</sup>)

- 1— Quaternary; 2— Neogene; 3— Paleogene; 4— Cretaceous; 5— Jurassic; 6— Carboniferous—Permian; 7— Devonian; 8— Ordovician;  
 9— Quaternary basalt; 10— Biotite syenogranite; 11— Granodiorite; 12— Biotite monzogranite; 13— Biotite syenogranite; 14— Biotite  
 granite porphyry; 15— Quartz diorite; 16— Quartz albite porphyry; 17— Alkali feldspar granite; 18— Alkaline granite; 19— Biotite  
 granodiorite; 20— Faults; 21— Contact boundary of hornfels; 22— Fracture zone; 23— Contact boundary between strata and intrusive rocks;  
 24— Angular unconformity; 25— Parallel unconformity; 26— Dabuxiletu pluton; 27— Sampling site

好的环带构造,表面绢云母化;石英含量 20%~30%,表面干净,大的晶体颗粒具明显波状消光和碎裂现象,小颗粒呈集合体状分布于大颗粒边缘或呈脉状;钾长石含量 8%~20%,粒径 0.5~5 mm,粒状,多见格子双晶和条纹双晶,表面高岭土化较明显;黑云母含量 3%~7%,零星分布,边部分解成绿帘石和磁铁矿等。副矿物主要有锆石、磁铁矿、磷灰石和榍石。

黑云花岗闪长岩:褐灰色,黑云母含量>10%,与

花岗闪长岩相比,斜长石含量稍低,钾长石含量稍高。其他特征与花岗闪长岩类似。

黑云花岗岩:黄褐色、肉红色,中—粗粒结构,块状构造。主要矿物:碱性长石含量 40%~45%,主要为条纹长石和微斜长石,粒度 0.05~4 mm,自形、半自形或不规则板状,发育条纹双晶和格子双晶;斜长石含量 20%~30%,主要为更长石,粒度 0.1~4.2 mm,自形程度均较好,自形—半自形板状体,局部聚片双晶

①内蒙古自治区地质调查院.区域地质调查报告 1:20 万巴音乌拉幅(归档资料). 1980.

清晰,被条纹长石包裹或半包裹,见环带结构,表面可见较强的绢云母化、泥化和明显的帘石化;石英含量 20%~50%,他形,不规则粒状,粒度变化大,分为两种:一种粒径为 0.5~4 mm,波状消光明显;另一种为 0.05~0.2 mm,呈小颗粒集合体,呈脉状交代或充填,可能为碎粒化作用所成,见小颗粒集合体在长石边缘形成交代结构,在长石晶体中呈蠕虫状,局部与钾长石形成显微文象结构,还可见其与长石构成的似花斑结构;黑云母含量 5%~10%,浅棕色—棕褐色多色性,粒度 0.3~1 mm,不规则鳞片状,分散分布;大部分退色或蚀变为绿泥石及铁质,局部有针状金红石析出;少量白云母。副矿物以石榴石、榍石为主,其次为锆石和磁铁矿,含少量磷灰石和独居石。

黑云钾长花岗岩:浅灰粉色,细粒结构,块状构造。主要矿物:条纹长石和正长石含量 50%~55%,以条纹长石为主,见钾长石与石英形成很标准的显微文象结构,也见在斜长石外围钾长石形成为文象结构;斜长石含量 5%~10%,主要为更长石,半自形板状,见聚片双晶,轻度绢云母化部分被钾长石交代;石英含量 30%~35%,粒度 0.3~1.2 mm,大部分与钾长石形成显微文象结构,少部分为较大的粒状,不均匀分布其中;黑云母含量 2%~5%,鳞片状集合体,不规则分布。副矿物以锆石为主,含少量磁铁矿、磷灰石、萤石和金红石。

### 3 地球化学特征

#### 3.1 采样和分析

为了全面了解达布锡勒图岩体特征,本次研究引用内蒙古自治区地质调查院 1:20 万达来幅区域地质调查报告中组成岩体的各主要岩石类型主量元素含量数据(表 1)。并分别采取微量元素分析样品,包括(黑云)花岗闪长岩、二长花岗岩、花岗岩及钾长花岗岩,采样位置见图 1,分析结果见表 2。

微量元素含量由国土资源部呼和浩特矿产资源监督检测中心采用 XRF 和感耦等离子体质谱法(ICP-MS)测定。

X 射线荧光分析方法(XRF)采用岩石粉末压片法制样,将样品干燥、焙烧、混合、研磨后,称取颗粒径 $\leq 75 \mu\text{m}$ 的样品 4.0 g,放入模具内,拨平,用低压聚乙烯镶边垫底,在  $3.5 \times 10^3$  MPa 压力下,压制成试样直径为 32 mm,镶边外径为 40 mm 的圆片。将制备好的样品放入仪器(XRF,型号 ZSX Primus-

II),用 X-射线照射,测定待测样品中分析元素的特征谱线强度,选取硅酸盐岩石 GBW07103—GBW07114 为校准样品,进行对照,求得待测元素的浓度。对 V、Cr、Ba 和 La,采用经验系数法校正基体效应误差,对于 Cu、Ni、Nb、Zr、Y、Sr、Rb、Pb、Th、Zn 和 Co,采用经验系数法和康普顿散射内标法校正基体效应<sup>[25-27]</sup>,误差小于 0.5%。

其他微量元素采用感耦等离子体质谱法(ICP-MS,型号 X Series 2)测定,检测方法参考刘颖(1996)<sup>[28]</sup>,并依据 ICP-MS 分析方法通则 DZ/T 0223-2001,误差均小于 10%。

#### 3.2 主量元素特征

达布锡勒图岩体主量元素含量及其特征值与 CIPW 标准矿物计算结果见表 1。按照不同类型岩石化学成分含量和特征值,可将岩体分为花岗闪长岩类(包括黑云花岗闪长岩和花岗闪长岩)和花岗岩类(包括二长花岗岩、花岗岩及钾长花岗岩)进行讨论。

花岗闪长岩类  $\text{SiO}_2$  含量为 67.72%~72.87%,平均 70.47%,属酸性岩范围; $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量较高,为 13.69%~14.61%,平均 14.28%;全碱( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )含量 6.58%~7.63%,平均 6.9%; $\text{Na}_2\text{O}$  含量平均 3.58%, $\text{K}_2\text{O}$  含量平均 3.33%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  值为 1.31~1.83,均大于 1,平均 1.65,相对富钠贫钾; $\text{CaO}$  含量较低,为 1.35%~2.69%; $\text{DI}=75.86\sim 86.49$ , $\text{SI}=5.30\sim 13.91$ ,表明岩浆经历了中等程度的分异演化; $\text{FL}=70.89\sim 84.97$ , $\text{MF}=70.67\sim 77.78$ ,表明岩浆分离结晶作用中等。花岗闪长岩类的总体特征为硅碱含量中等,高铝,相对富钠贫钾,贫钙镁。

花岗岩类  $\text{SiO}_2$  含量 75.50%~77.23%,平均 76.31%,属超酸性岩范围; $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量较高,为 11.42%~12.72%,平均 11.97%;全碱( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ )含量 7.2%~8.16%,平均 7.59%; $\text{Na}_2\text{O}$  含量平均 3.57%, $\text{K}_2\text{O}$  含量平均 4.02%, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$  值为 1.10~1.90,均大于 1,平均 1.38,相对富钠贫钾; $\text{CaO}$  含量低,为 0.17%~0.34%; $\text{DI}=91.26\sim 95.10$ , $\text{SI}=0\sim 8.66$ ,表明岩浆分异演化较彻底; $\text{FL}=95.49\sim 97.82$ , $\text{MF}=68.16\sim 100$ ,表明岩浆分离结晶程度较高。花岗岩类的总体特征为高硅,富铝碱,相对富钠贫钾,贫钙镁。

上述两类花岗岩不同样品主要氧化物随  $\text{SiO}_2$  含量增加都表现出较明显的相关关系: $\text{K}_2\text{O}$  与  $\text{SiO}_2$  含量呈正相关, $\text{Na}_2\text{O}$  随  $\text{SiO}_2$  含量的增加基本保持稳定, $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量与  $\text{SiO}_2$  含量呈弱的负相关, $\text{CaO}$ 、

表 1 达布锡勒图岩体岩石化学成分(%)、参数及其 CIPW 标准矿物含量(%)  
Table 1 Major elements content(%), related petrochemical parameters and CIPW norms(%) of Dabuxiletu pluton

样号	1722	77-a	3P294	3P291-4	3P301-1	P302-4	P291-15	P305	6月1日
岩性	中细粒花岗岩 闪长岩	中粒花岗岩 长岩	中细粒花岗岩 闪长岩	中细粒黑云 花岗岩闪长岩	中细粒黑云花 闪长岩	细粒黑云花 岗岩	细粒黑云二 长花岗岩	细粒黑云钾 长花岗岩	黑云钾长文 象斑岩
采样位置	达布锡勒图	北西 6km	北西 4km	西 5km	南西 12km	乌兰敖包		查占音巴彦	
SiO <sub>2</sub>	67.72	70.55	72.87	72.35	68.84	75.74	76.77	77.23	75.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.54	14.46	14.1	13.69	14.61	12.72	11.42	11.63	12.11
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.79	1.77	0.7	1.38	2.28	1.35	1.11	1.6	1.64
FeO	2.83	1.91	0.98	1.03	1.64	0.47	0.82	0.56	0.6
CaO	2.36	2.19	1.85	1.35	2.69	0.34	0.34	0.34	0.17
MgO	1.81	1.2	0.48	1	1.33	0.85	0.48	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	0.05	0.05	0.05	0.05
MnO	0.15	0.1	0.01	0.1	0.1	0.02	0.02	0.03	0.03
TiO <sub>2</sub>	0.6	0.4	0.2	0.4	0.5	0.2	0.2	0.1	0.1
Na <sub>2</sub> O	3.6	3.7	3.6	3.53	3.45	3.15	3.43	3.45	4.25
K <sub>2</sub> O	2.98	3.13	3.3	4.1	3.13	4.05	4.73	3.93	3.38
Los	2.3	1.1	1.54	1.35	1.14	1.15	1.04	0.78	0.78
合计	100.83	100.66	99.73	100.38	99.81	100.09	100.41	99.7	98.61
岩石化学参数									
σ <sub>43</sub>	1.73	1.69	1.58	1.97	1.66	1.58	1.97	1.59	1.9
A.R	2.28	2.39	2.52	3.06	2.23	3.46	5.53	4.22	4.28
A/CNK	1.08	1.08	1.1	1.08	1.05	1.25	1	1.1	1.11
NK	6.58	6.83	6.9	7.63	6.58	7.2	8.16	7.38	7.63
N/K(mol)	1.84	1.8	1.66	1.31	1.68	1.18	1.1	1.33	1.91
DI	75.86	80.17	86	86.49	77.08	91.26	94.62	94.45	95.1
SI	13.91	10.27	5.3	9.09	11.31	8.66	4.55	0	0
FL	73.6	75.72	78.86	84.97	70.98	96	95.49	95.6	97.82
MF	71.85	75.41	77.78	70.67	74.67	80.08	68.16	100	100
C/N (%)	0.66	0.59	0.51	0.38	0.78	0.1	0.11	0.1	0.04
100Fe <sup>3+</sup> /(Fe <sup>3+</sup> +Fe <sup>2+</sup> )(mol)	36.27	45.47	39.13	54.66	55.57	72.1	54.92	72	71.1
Mg <sup>#</sup>	42.32	38.14	34.92	44.2	39.34	47.59	32.2	0	0
A/MF	1.34	1.81	4.03	2.38	1.7	2.8	3.01	4.1	4.11
C/MF	0.39	0.5	0.96	0.43	0.57	0.14	0.16	0.22	0.1
CIPW 标准矿物含量 (%)									
Q(石英)	27.07	30.14	35.12	31.85	28.71	40.1	37.27	41.43	37.88
An(钙长石)	10.89	9.93	8.68	6.11	12.87	1.38	1.37	1.38	0.53
Ab(钠长石)	30.92	31.45	31.02	30.17	29.61	26.96	29.21	29.53	36.79
Or(正长石)	17.87	18.58	19.86	24.47	18.76	24.2	28.14	23.49	20.43
C(刚玉)	1.48	1.37	1.51	1.24	0.91	2.69	0.16	1.22	1.3
Hy(紫苏辉石)	7.63	5.19	2.14	3.62	5.64	3.05	2.07	1.28	1.33
Il(钛铁矿)	1.16	0.76	0.39	0.77	0.96	0.38	0.38	0.19	0.19
Mt(磁铁矿)	2.63	2.22	1.03	1.54	2.31	1.13	1.29	1.36	1.44
Ap(磷灰石)	0.35	0.35	0.24	0.23	0.23	0.12	0.12	0.12	0.12
合计	99.99	100	100	100	100	100	100.01	100	100

注:岩石化学成分数据来源于 1:20 万达来幅区域地质调查报告(1980),其参数和 CIPW 标准矿物含量为笔者计算。组合指数(σ<sub>43</sub>)=(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)<sup>2</sup>/(SiO<sub>2</sub>-43),碱度率(A.R)=[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO+(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)]/[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+CaO-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)],全碱含量(NK)=Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O,TFE=FeO+0.9Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,长英指数 FL=100×(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)/(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O+CaO),镁铁指数 MF=100×(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO)/(Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+FeO+MgO),固结指数(SI)=MgO×100/(MgO+FeO+F<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)(Wt%);分异指数(DI)=Qz+Or+Ab+Ne+Lc+Kp(CIPW 计算数据);铝饱和指数(A/CNK)=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O),镁值(Mg<sup>#</sup>)=100×MgO/(MgO+TFE),A/MF=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(TFE+MgO),C/MF=CaO/(TFE+MgO)(mol)。CIPW 标准矿物由 Kurt Holocher 设计的 Excel 表格计算,略有修改;用 Le Maitre R W(1976)<sup>[29]</sup>方法按侵入岩调整氧化铁;氧化物在去 H<sub>2</sub>O<sup>-</sup>等以后重换算为 100%。

TFeO、TiO<sub>2</sub>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 和 MgO 的含量与 SiO<sub>2</sub> 含量呈强的负相关;标准矿物计算得石英(Q)和钠长石(Ab)的含量都较高,出现刚玉(C)且含量绝大多数大于 1%。

花岗闪长岩类组合指数( $\sigma$ )为 1.58~1.97,绝大部分小于 1.8,属钙性类型,稍具向钙碱性过渡的性质;在 SiO<sub>2</sub>-A.R(碱度率)图解(图 2)中,绝大部分落在钙碱性岩区,少量落在碱性岩区;铝饱和指数(A/CNK)为 1.047~1.097,均介于 1.0~1.1,属弱过铝质岩石;在 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 图解(图 3)中花岗闪长岩类样品点绝大部分落入中钾岩系范围内,少量落入高钾岩系。

花岗岩类组合指数( $\sigma$ )为 1.58~1.97,具向钙碱-钙碱性过渡性质;在 SiO<sub>2</sub>-A.R(碱度率)图解(图 2)中,均落入碱性岩区;铝饱和指数(A/CNK)为 1.003~1.249,绝大部分大于 1.1,属强过铝质岩石。

### 3.3 稀土元素特征

达布锡勒图岩体稀土元素含量及特征值(表 2)显示:  $\sum REE = 64.21 \times 10^{-6} \sim 169.31 \times 10^{-6}$ ; LREE/HREE=3.66~5.66, (La/Yb)<sub>N</sub>=2.40~4.18,轻重稀土分馏不明显,轻稀土轻度富集; La/Sm=4.08~6.7, (La/Sm)<sub>N</sub>=2.63~4.31,轻稀土分馏程度较低,据赫尔曼以稀土元素未发生分馏的球粒陨石的 Sm/Nd=0.333 为界,将大于 0.333 者划为轻稀土亏损型,小于 0.333 者划为轻稀土富集型,该岩体 Sm/Nd=0.17~0.22,为轻稀土富集型; Gd/Yb=0.66~1.33, (Gd/Yb)

N=0.49~0.92,重稀土分馏程度也较低;  $\delta Eu=0.25 \sim 0.91$ ,具有弱到中等程度的铕负异常,说明岩浆源区岩石部分熔融残留相中有一定数量的斜长石或岩浆作用经历过一定程度的斜长石的分离结晶作用;  $\delta Ce=1 \sim 1.26$ ,具轻度的铈正异常,可能代表岩石形成于相对的弱酸性、弱氧化条件,为近地表浅成岩相,或遭受了轻度的蚀变或风化作用。

达布锡勒图岩体稀土元素球粒陨石标准化配分型式(图 4)总体表现为较平缓的右倾型;除 1 个花岗闪长岩样品(DJ07)外,其他均具有弱或中等程度的 Eu 负异常;轻稀土略倾斜,重稀土较平缓,轻稀土元素分馏程度稍高于重稀土元素,形态近似于“海鸥型”。

### 3.4 微量元素特征

从达布锡勒图岩体微量元素含量及特征值(表 2)可以看出:黑云花岗闪长岩、二长花岗岩以及花岗岩中大离子亲石元素(LILE)(Rb、Cs、Sr 和 Ba)、高场强元素(HFSE)(Sc、Y、Th、U、Ge、Ga、Zr、Hf、Nb 和 Ta)和过渡金属元素(V、Co、Ni 和 Zn)接近陆壳值,Cr 和 Cu 值较低接近洋壳值;花岗闪长岩和钾长花岗岩中 LILE 和 HFSE 接近陆壳值,过渡金属元素含量较低,均接近洋壳值。

Zr/Hf 比值在岩浆演化的后期是降低的<sup>[35]</sup>。达布锡勒图岩体黑云花岗闪长岩、二长花岗岩和黑云花岗岩 Zr/Hf 比值较高,花岗闪长岩和钾长花岗岩

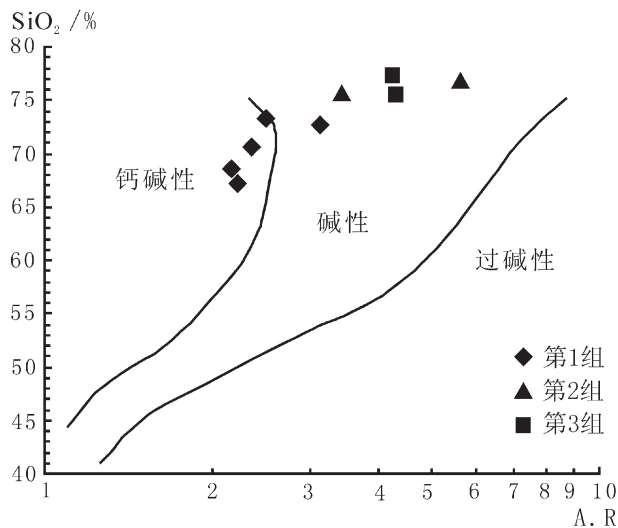


图 2 达布锡勒图岩体碱度率图解(据 J.B.Wright,1969<sup>[30]</sup>)  
Fig.2 SiO<sub>2</sub>-A.R diagram of Dabuxiletu pluton  
(after J. B. Wright,1969<sup>[30]</sup>)

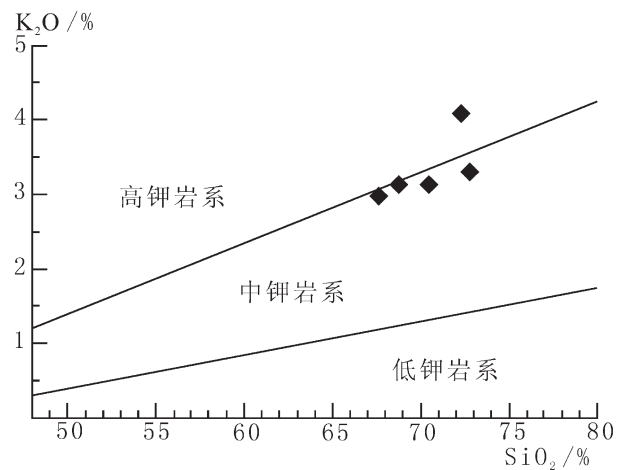


图 3 达布锡勒图岩体 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> 变异图解  
(据 Le Maitre,1988<sup>[31]</sup>)  
Fig.3 K<sub>2</sub>O-SiO<sub>2</sub> diagram of Dabuxiletu pluton  
(after Le Maitre, 1988<sup>[31]</sup>)

表 2 达布锡勒图岩体稀土和微量元素含量(10<sup>-6</sup>)及特征参数  
Table 2 REE and trace element analyses of Dabuxiletu pluton(10<sup>-6</sup>)

样品	黑云花岗闪长岩				花岗闪长岩	二长花岗岩	钾长花岗岩	黑云花岗岩	陆壳 <sup>*</sup>	洋壳 <sup>*</sup>	大陆弧 <sup>△</sup>	岛弧 <sup>△</sup>	adakite <sup>△</sup>
	DJ04	DJ05	DJ06	HZ07	DJ07	HZ08	HZ09	HZ10					
La	23.5	23.6	22.2	12.1	14	22.4	13	30.3	16	3.7	29.94	32.01	22.62
Ce	63	49.6	44.9	27.2	31.1	52.7	26.8	63.7	33	1.15	60.15	55.27	41.03
Pr	6.37	5.88	5.5	2.85	3.59	6.72	3.22	8.32	3.9	1.8	\	\	\
Nd	24.8	22.6	21.6	10.1	13.3	27.6	11.4	32.8	16	1	28.27	17.85	18.53
Sm	5.01	4.24	4.68	2.12	2.49	5.49	1.94	6.2	3.5	3.3	5.28	6.4	2.88
Eu	1.49	1.19	0.93	0.3	0.2	0.94	0.43	1.15	1.1	1.3	1.81	3.6	0.91
Gd	5.02	4.41	5.07	1.99	2.49	5.43	1.81	5.75	3.3	4.6	4.26	6.99	2.05
Tb	0.85	0.82	0.95	0.34	0.52	1.01	0.35	1.13	0.6	8.7	0.72	0.76	0.3
Dy	6.52	5.86	7.54	2.47	4.1	7.56	2.74	7.46	3.7	5.7	3.57	6.88	1.22
Ho	1.2	1.17	1.48	0.49	0.84	1.52	0.55	1.54	0.78	1.3	\	\	\
Er	3.64	3.32	4.63	1.6	2.92	4.56	1.7	4.15	2.2	3.7	2.2	5.03	0.64
Tm	0.66	0.61	0.87	0.29	0.58	0.8	0.39	0.84	0.32	5.4	\	\	\
Yb	4.56	4.24	5.76	2.09	4.18	5.05	2.68	5.19	2.2	5.1	2.44	4.26	0.65
Lu	0.64	0.69	0.98	0.37	0.79	0.83	0.5	0.85	0.3	5.6	0.39	0.47	0.11
ΣREE	147.24	128.16	127.06	64.21	81.05	142.6	67.49	169.31	86.9	52.35			
LREE	124.16	107.04	99.78	54.56	64.64	115.85	56.77	142.42	73.5	12.25			
HREE	23.08	21.12	27.28	9.64	16.41	26.75	10.73	26.89	13.4	40.1			
LREE/HREE	5.38	5.07	3.66	5.66	3.94	4.33	5.29	5.3	5.49	0.31			
(La/Yb) <sub>N</sub>	3.69	3.99	2.76	4.13	2.4	3.18	3.47	4.18	5.22	0.52	8.8	5.39	24.96
La/Sm	4.69	5.57	4.74	5.71	5.62	4.08	6.7	4.89	4.57	1.12	5.67	5	7.85
(La/Sm) <sub>N</sub>	3.02	3.59	3.06	3.68	3.63	2.63	4.31	3.15	2.95	0.72	3.66	3.23	5.07
Gd/Yb	1.33	1.19	0.97	0.92	0.66	1.22	0.7	1.33	1.5	0.9	1.75	1.64	3.15
(Gd/Yb) <sub>N</sub>	0.91	0.86	0.73	0.78	0.49	0.89	0.56	0.92	1.24	0.75	1.44	1.36	2.61
Sm/Nd	0.2	0.19	0.22	0.21	0.19	0.2	0.17	0.19	0.22	3.3	0.19	0.36	0.16
δEu	0.91	0.84	0.58	0.44	0.25	0.52	0.7	0.59	0.99	1.02	1.17	1.65	1.14
δCe	1.26	1.03	1	1.14	1.08	1.05	1.02	0.98	1.02	0.11			
Rb	66.4	49.6	79	83.2	119	96.5	105	98.7	32	2.2	83	109	41
Cs	1.47	2.04	1.61	2.67	2.06	5.75	1.85	1.55	1	3	9.45	0.76	1.95
Sr	330	347	243	59	36	324	51	398	260	1.3	424	229	668
Ba	868	832	745	208	221	672	175	640	250	2.5	501	514	615
Sc	10	8.9	6.9	2.3	1.1	12.4	1.7	8.6	30	3.8	12.1	10.9	7.4
Y	35.8	32.9	46.3	14.3	24.9	47.6	14.5	44.6	20	3.2	27.4	28.5	8.8
Th	14.5	10.6	13.6	21.4	21.3	14	20.2	18	3.5	2.2	13.2	4.96	4.5
U	3.88	1.25	1.38	1.08	1.47	1.66	1.78	3.46	0.91	1	3.61	0.67	0.96
Pb	13.8	12.9	11.2	19.3	13.9	14.2	19.9	16.1	8	8	\	\	\
Ge	1.73	1.39	1.55	1.28	1.73	1.71	1.58	1.66	1.6	1.5	\	\	\
Ga	23.1	20.2	18.4	8.1	8.3	16.7	8.9	18.4	18	1.7	\	\	\
Zr	229	194	183	63	110	235	48	239	100	8	190	133	131
Hf	4.7	7.5	11.5	9.9	15.7	9	8.1	7.4	3	2.5	5.5	2.6	3.4
Nb	10	9	11.5	7.2	15.2	9.8	9.7	12.8	11	2.2	15	15.8	6.5
Ta	0.82	0.73	1.12	0.96	2	0.94	1.07	1.13	1	0.3	1.17	0.49	0.54
V	81.6	59.7	45.4	13	8.7	105	9.9	93.7	230	2.5	84	71	61
Cr	5.6	8.1	7.9	7.4	8.6	22.9	10	24.5	185	2.7	29	21	38
Co	9.3	5.8	3.1	1.1	1.1	10	1.4	9.8	29	4.7	12	19	15
Ni	8.9	6.3	4.6	1.2	1.9	15	1.6	14	105	1.35	19	9	26
Cu	15.1	10.5	9.3	12	9.9	15.4	10.1	11.2	75	8.6	30	27	23
Zn	123	185	43.1	15.3	22.8	61	13.3	71.6	80	8.5	59	58	51
Rb/Sr	0.2	0.14	0.33	1.41	3.31	0.3	2.06	0.25	0.12	1.69	0.2	0.48	0.06
Rb/Ba	0.08	0.06	0.11	0.4	0.54	0.14	0.6	0.15	0.13	0.88	0.17	0.21	0.07
Th/U	3.72	8.5	9.88	19.92	14.44	8.41	11.31	5.2	3.85	2.2	3.66	7.4	4.69
Nb/Ta	12.24	12.29	10.22	7.57	7.58	10.46	9.07	11.4	11	7.33	12.82	32.24	12.04
Zr/Hf	48.6	25.9	15.8	6.3	7	26.2	5.9	32.1	33.33	3.2	34.55	51.15	38.53
Sr/Y	9.2	10.6	5.3	4.1	1.4	6.8	3.5	8.9	13	0.41	15.47	8.04	75.91
Ba/La	36.9	35.2	33.6	17.2	15.8	30	13.5	21.1	15.63	0.68	16.73	16.06	27.19

注:由国土资源部呼和浩特矿产资源监督检测中心分析测试,主检人:陈彦斌和王魁;分析方法:X射线荧光光谱法(XRF)和等离子体质谱法(ICP-MS);检测环境:温度 25°,湿度 35%;陆壳和洋壳稀土元素含量引自 Taylor,S.R. 1985<sup>[2]</sup>,以“\*”标记;岛弧、大陆弧及埃达克岩稀土元素含量引自肖庆辉等(2002)<sup>[3]</sup>,以“△”标记,“\”表示未作分析。

Zr/Hf 比值较低,反映其演化程度较高,经历了一定程度的结晶分异作用;而南部的黑云花岗闪长岩(HZ07)较低的 Zr/Hf 比值,可能较多是其深成岩相的反映,其中粗粒结构以及含较多闪长岩捕掳体也

说明了这一点。

达布锡勒图岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图(图 5)显示,富集大离子亲石元素(如 Rb、Ba、Th、U 和 K)和 Pb,轻度富集 LREE 和 Sr;相对于 Rb、

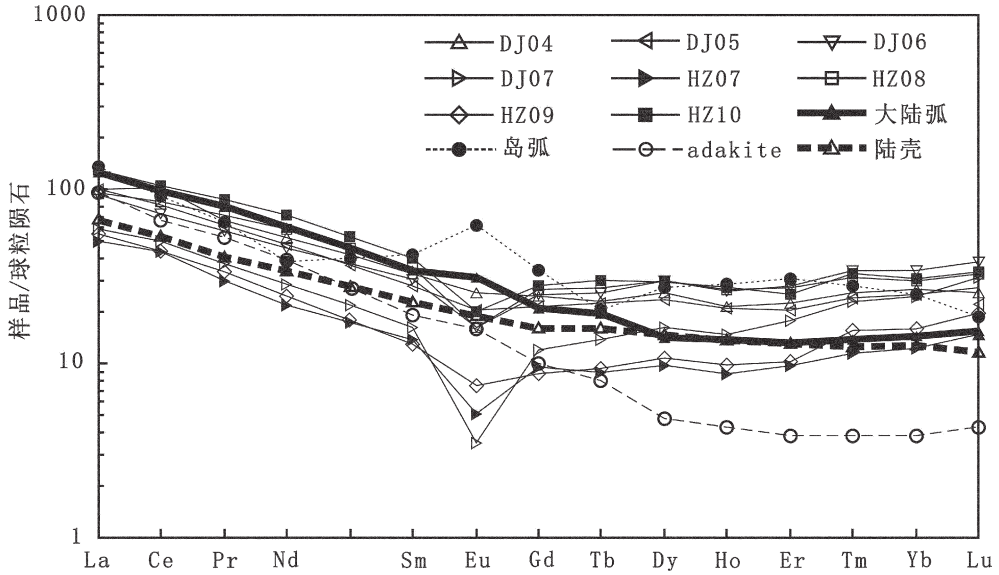


图 4 达布锡勒图岩体稀土元素球粒陨石标准化分布型式图  
(球粒陨石标准化值据 Sun and McDonough, 1989<sup>[34]</sup>)

Fig.4 Chondrite-normalized REE patterns of Dabuxiletu pluton  
(chondrite values from Sun and McDonough, 1989<sup>[34]</sup>)

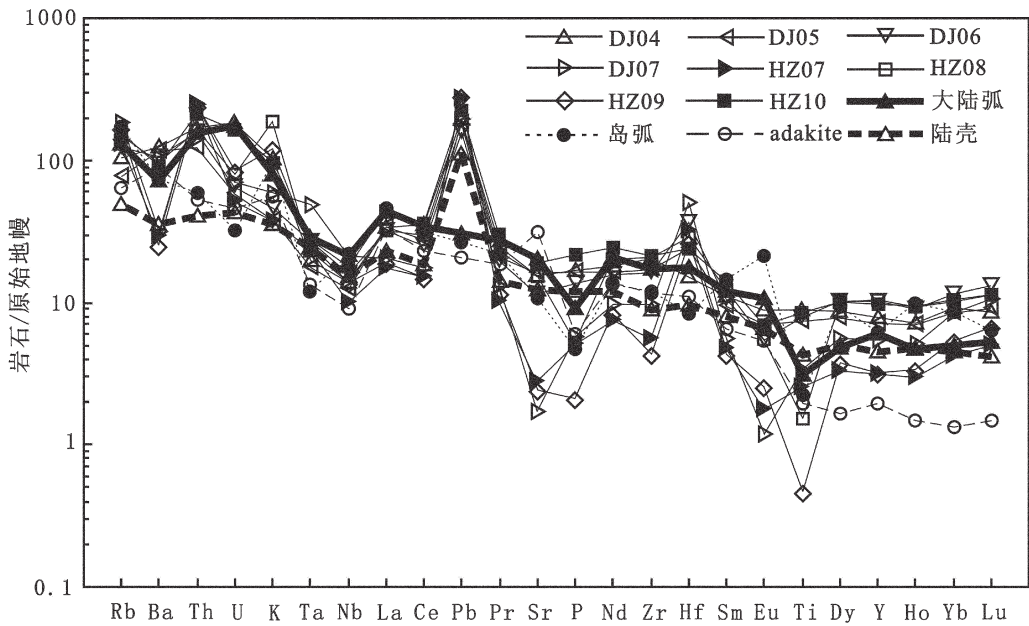


图 5 达布锡勒图岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图  
(原始地幔标准化值据 Sun and McDonough, 1989<sup>[34]</sup>)

Fig.5 Primitive mantle-normalized trace element spider diagram of Dabuxiletu pluton (primitive mantle values from Sun and McDonough, 1989<sup>[34]</sup>)



Th 和 K, 亏损 Ba 和 U; 相对于 K 和 Pb, 亏损 Nb 和 Ta; 亏损高场强元素(如 P 和 Ti), 轻度亏损 HREE, 轻度富集 Zr 和 Hf。

## 4 讨论

### 4.1 时代限定

达布锡勒图花岗闪长岩体沿着音邵跟哈日敖包复背斜北翼或说沿达布锡勒图褶皱带侵入于上石炭统一二叠统宝力高庙组第三岩段中酸性火山碎屑岩中; 根据 1:20 万巴音乌拉幅区调报告<sup>①</sup>, 该花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄为  $(256.1 \pm 0.9)\text{Ma}$ , 因此, 将其时代置于晚二叠世, 达布锡勒图花岗闪长岩属华力西晚期侵入岩体。二长花岗岩、花岗岩和钾长花岗岩呈不规则岩株状侵入于花岗闪长岩体之中, 这三者的时代应晚于花岗闪长岩体。

### 4.2 岩石成因: 部分熔融与结晶分异

大离子亲石元素 Ba 和 Sr 属不相容元素, Rb 属高度不相容元素, 其比值 Rb/Ba 及 Rb/Sr 对岩浆作用敏感, 强烈的结晶分异作用可使得 Rb/Ba 及 Rb/Sr 比值增高<sup>[35]</sup>。Sr 主要在岩浆早期阶段富集, 而 Rb 则相反, Rb/Sr 比值随岩浆分异程度的增强而变大<sup>[36]</sup>。Rb/Sr 比值高 ( $>2$ ) 的花岗岩与含水矿物云母脱水熔融有关, 而 Rb/Sr 比值低 ( $<2$ ) 的花岗岩一般与含水条件下的部分熔融有关, 含水条件下的部分熔融通常是部分熔融的初始阶段, 因 Rb 主要赋存于云母类矿物, Sr 主要赋存于斜长石, 在含水部分熔融过程中斜长石的熔融量远多于云母, 熔体中 Rb/Sr 比值低, 云母脱水熔融过程中斜长石的熔融量显著减少, 熔体中 Rb/Sr 比值增大<sup>[37]</sup>。

黑云花岗闪长岩 Rb/Sr 值为 0.14~1.41, Rb/Ba 值为 0.06~0.40; 二长花岗岩和黑云花岗岩 Rb/Sr 比值为 0.25、0.30, Rb/Ba 比值为 0.14、0.15; 花岗闪长岩 Rb/Sr 比值和 Rb/Ba 比值分别为 3.31、0.54, 钾长花岗岩 Rb/Sr 比值和 Rb/Ba 比值分别为 2.06、0.60。结合岩体的稀土元素特征: 轻重稀土无显著分馏; 前者 Eu 弱负异常, 后者 Eu 中等程度异常。表明黑云花岗闪长岩、二长花岗岩和黑云花岗岩的岩浆形成与含水条件下的低程度部分熔融、斜长石较多进入熔体有关; 而花岗闪长岩和钾长花岗岩可能分别是由黑云花岗闪长岩和二长花岗岩或黑云花岗岩岩浆

发生斜长石结晶分异成因的产物, 其 Zr/Hf 比值较低, 也反映其演化程度较高, 经历了一定程度的结晶分异作用。这可能也是 DJ07 具强负钨异常的原因。

### 4.3 成因类型和源岩

花岗闪长岩类主量元素含量及特征参数显著不同于 A 型和 M 型花岗岩, 而与 I 型花岗岩具有的以下矿物和岩石化学特征相符:  $n(\text{Na}_2\text{O})/n(\text{K}_2\text{O})$  值相对较高,  $\text{Na}_2\text{O}$  含量  $>3\%$ ,  $100\text{Fe}^{3+}/(\text{Fe}^{3+}+\text{Fe}^{2+})$  值较高, 为 40~70, 铝饱和指数小于 1.1<sup>[38]</sup>; 多含黑云母、角闪石及磁铁矿等特征矿物。而 Ca 和 Sr 含量较低, 出现标准矿物刚玉(C), 含量绝大多数大于 1%, 不见透辉石(Di), 为 S 型花岗岩的特征<sup>[39]</sup>。综合稀土元素球粒陨石标准化分布型式为向右倾较平滑曲线, 无或具弱到中等程度的“钨谷”<sup>[40]</sup> 和 A-C-F 岩石类型判别图解(图 6), 也可以看出花岗闪长岩体兼具 I 型和 S 型花岗岩的特征。此外, 在弱过铝质岩石 ( $1 < \text{A}/\text{CNK} < 1.1$ ) 中,  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量很低 ( $\leq 0.15\%$ ), 且随  $\text{SiO}_2$  含量增加,  $\text{P}_2\text{O}_5$  含量降低, 表现其显著的 I 型花岗岩的特征, 据

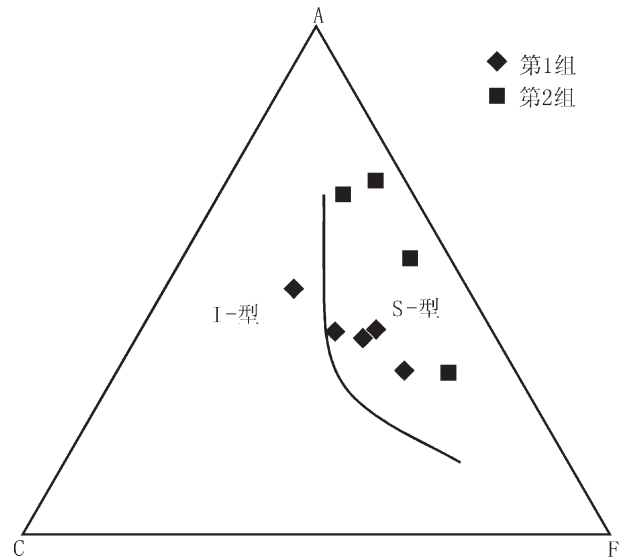


图 6 达布锡勒图岩体 A-C-F 成因类型判别图

(据 Chappell 和 White, 1974<sup>[43]</sup>)

第 1 组为花岗闪长岩类, 第 2 组为花岗岩类; 后图同

$\text{A}=(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3)-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}); \text{C}=\text{CaO}-3.3\text{P}_2\text{O}_5;$

$\text{F}=\text{MgO}+\text{FeO}+\text{MnO}$

Fig.6 A-C-F discrimination diagram for genetic type of Dabuxiletu pluton

(after Chappell and White, 1974<sup>[43]</sup>)

Group 1 refers to granodiorites, Group 2 signifies granites; the

same below

① 内蒙古自治区地质调查院. 区域地质调查报告 1:20 万巴音乌拉幅(归档资料). 1980.

此特征可以有效地地区分 S 型和 I 型花岗岩<sup>[41,42]</sup>。

花岗岩类铝饱和指数绝大多数大于 1.1, 为强过铝质岩石, 标准矿物出现刚玉(C), 且含量绝大多数大于 1%, 不见透辉石(Di), 含过铝质矿物原生白云母和石榴子石, 且 Ca 和 Sr 含量低, 并结合其稀土元素球粒陨石标准化分布型式特征 (为向右倾较平滑曲线, 具弱到中等程度的“铕谷”) 和 A-C-F 岩石类型判别图解(图 6), 属 S 型花岗岩。而高硅高碱, 属碱性岩系列, 以及与 A 型较接近的化学成分说明其具有后造山隆起和裂陷过渡环境 A 型花岗岩的特征<sup>[39]</sup>。

高场强元素在岩浆源区部分熔融时能够大量的进入熔体, 使熔体中该元素的浓度与源区岩石中的浓度接近, 因而其在岩浆岩中的浓度和两个密切共生的元素比值能够较为准确的反应其岩浆源区特征。

达布锡勒图岩体 Th/U、Nb/Ta 和 Ba/La 比值与地壳值接近, 为本区花岗岩的特征, Sm/Nd 值均 < 0.3, 为 0.17~0.22, 这一特征也指示其岩浆源区为壳源<sup>[40]</sup>, 即壳源玄武岩或其他沉积变质类岩石部分熔融<sup>[44]</sup>, 因 Th/U 和 Nb/Ta 比值从地核至地壳(Th/U 比值下地幔除外)呈增加的趋势<sup>[45]</sup>。

Sylvester P J(1998)<sup>[46]</sup>提出对 SiO<sub>2</sub> 含量在 67%~77%的强过铝质花岗岩而言, 其 CaO/Na<sub>2</sub>O 比值反映其源区成分特征: 由泥岩部分熔融形成的花岗质熔体的 CaO/Na<sub>2</sub>O 比值低于由砂岩(或正变质岩)部分熔融形成的熔体, 砂屑岩生成的过铝质花岗岩所含的 CaO/Na<sub>2</sub>O 比值一般大于 0.3, 而泥岩生成的

过铝质花岗岩所含的 CaO/Na<sub>2</sub>O 比值一般小于 0.3。达布锡勒图岩体花岗岩类 CaO/Na<sub>2</sub>O 比值为 0.04~0.11, 均小于 0.3, 表明其岩浆源区岩石成分可能为泥质岩。花岗闪长岩类为弱过铝质岩石, CaO/Na<sub>2</sub>O 比值为 0.38~0.78, 均大于 0.3。

在 A/MF-C/MF 源区判别图解(图 7)中, 花岗岩类数据点均落入变泥质岩部分熔融区域, 而花岗闪长岩类数据点大多数落在变杂砂岩部分熔融边界区域, 与基性岩部分熔融区域重叠或临近。

达布锡勒图岩体镁值 (Mg<sup>#</sup>) 为 32.20~47.59, 除 P30'2-4 为 47.59 外, 大多数小于 40, 部分花岗闪长岩类样品大于 40, 指示其岩浆源区主要为陆壳沉积变质岩部分熔融, 有一定程度 MORB 大洋俯冲板片岩石部分熔融形成的熔体参与<sup>[29]</sup>。花岗闪长岩类可能来自于大洋俯冲板片与上覆成熟度较低的陆壳变杂砂岩部分熔融形成的混合岩浆, 而花岗岩类则主要来自成熟度较高的陆壳变泥质岩部分熔融岩浆。

#### 4.4 成岩构造环境

I 型花岗岩源岩为下地壳中基性火成岩及其变质产物, 主要与 S 型花岗岩共同产于汇聚大陆边缘和大陆后造山构造环境中; 此外, 也可与 M 型花岗岩和拉斑玄武岩系列的火山岩混合产于岛弧地区。S 型花岗岩源岩主要是上地壳的沉积岩类, 主要出现于陆-陆碰撞、与俯冲带有关的大陆弧和由造山向非造山环境演化的过渡性构造环境的后造山隆起-裂陷 3 种构造环境<sup>[39]</sup>。达布锡勒图花岗闪长岩体兼有 I 型和 S 型花岗岩的特征, 可能产出于俯冲汇聚大陆边缘的大陆弧或大陆后造山构造环境。

在主要元素构造环境判别图解(图 8)中, 达布锡勒图岩体落入 IAG+CAG+ CCG 构造环境。为避免岩石化学等由蚀变而造成判别成岩构造环境上的偏差, 选择一些在蚀变过程中不活泼的微量元素(Nb、Y、Rb、Yb、Ta、La 和 Yb)来做进一步的判别。综合 Rb-(Y+Nb) 和 Rb/30-Hf-3Ta 微量元素构造判别图解(图 9~10), 达布锡勒图岩体属火山弧花岗岩, 并落入与向板内环境过渡的后碰撞花岗岩重叠的区域, 可能说明大洋俯冲已进入晚期, 火山弧已较为成熟。岩体富集 LILE 和 LREE 而亏损 HFSE 和 HREE, 亦为火山弧构造环境地球化学特征<sup>[48]</sup>。其成岩岩浆来自俯冲作用形成的熔体, 成岩过程复杂, 可能经历 MASH 过程(岩浆混合、混染和均一化过程)和 AFC 过程(分离结晶混染)<sup>[49,50]</sup>。

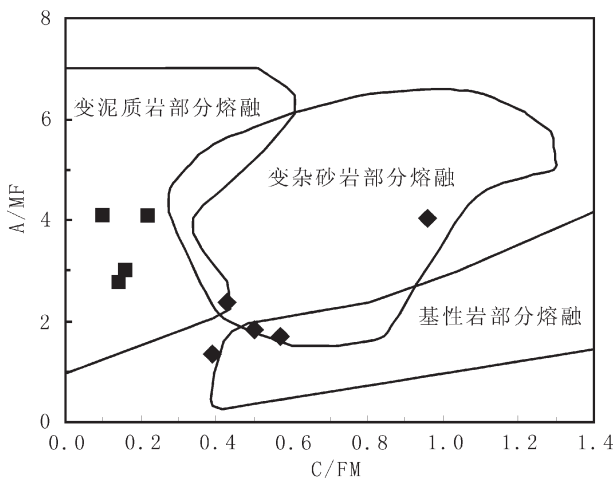


图 7 达布锡勒图岩体 A/MF-C/MF 源区判别图  
(据 Altherr 等, 2000<sup>[47]</sup>)

Fig.7 A/MF-C/MF discrimination diagram of source rock for Dabuxiletu pluton(after Altherr et al., 2000<sup>[47]</sup>)

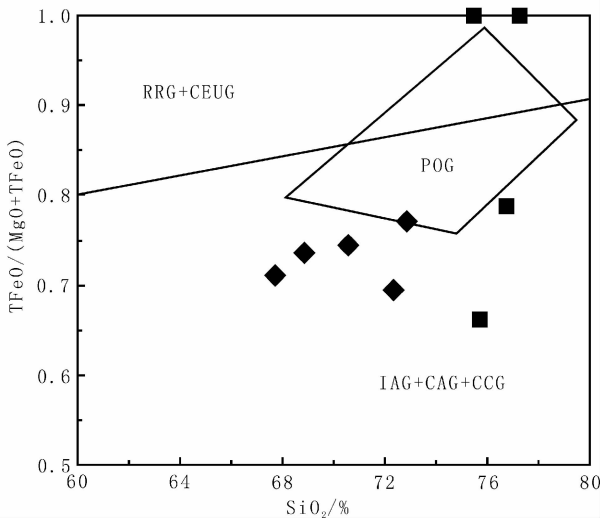
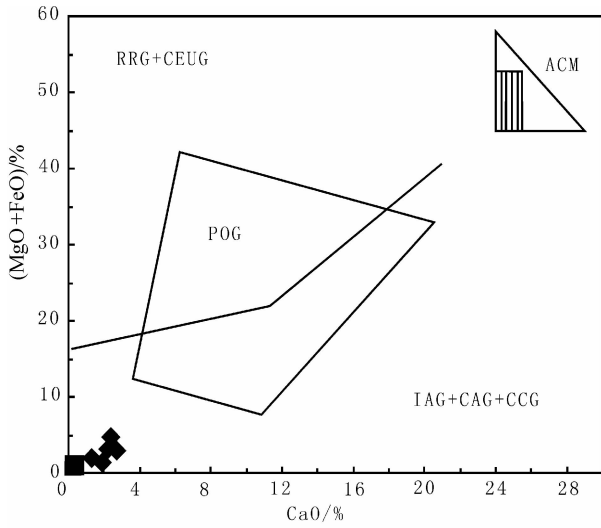


图 8 达布锡勒图岩体主元素构造环境判别图解  
(据 Maniar 等,1989<sup>[51]</sup>)

IAG—岛弧花岗岩类,CAG—大陆弧花岗岩类,CCG—大陆碰撞花岗岩类;POG—后造山花岗岩类;RRG—与裂谷有关的花岗岩类,CEUG—与大陆抬升有关的花岗岩类

Fig.8 Discrimination diagram of tectonic setting of major elements for Dabuxiletu pluton(after Maniar et al., 1989<sup>[51]</sup>)

IAG—Island arc granitoids,CAG—Continental arc granitoids, CCG—Continental collision granites;POG—Post-orogenic granitoids;RRG—Rift-related granitoids,CEUG—Uplift of mainland-related granitoids

火山弧岩浆岩与埃达克岩相比,其主要区别在于:①岩石类型方面,火山弧岩浆岩除了以石英闪长岩和花岗闪长岩等中酸性岩为主外,仍有相当数量的基性岩石(辉长闪长岩和辉长岩等);②稀土元素方面,火山弧岩浆岩轻重稀土分馏程度较低,具有较

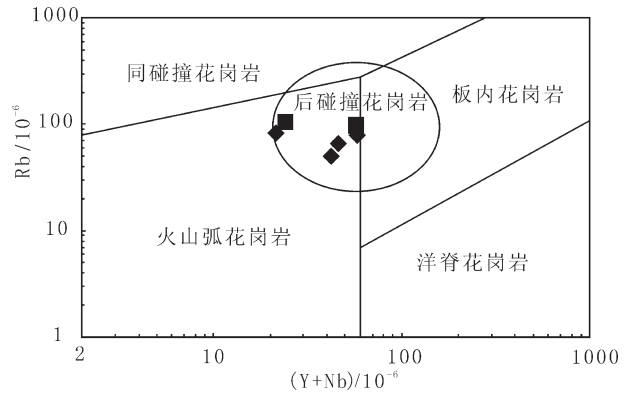


图 9 达布锡勒图岩体 Rb-(Y+Nb)构造环境判别图解  
(据 Pearce,1996<sup>[52]</sup>)

Fig.9 Rb-Y+Nb discrimination diagrams of tectonic setting of trace elements for Dabuxiletu pluton(after Pearce,1996<sup>[52]</sup>)

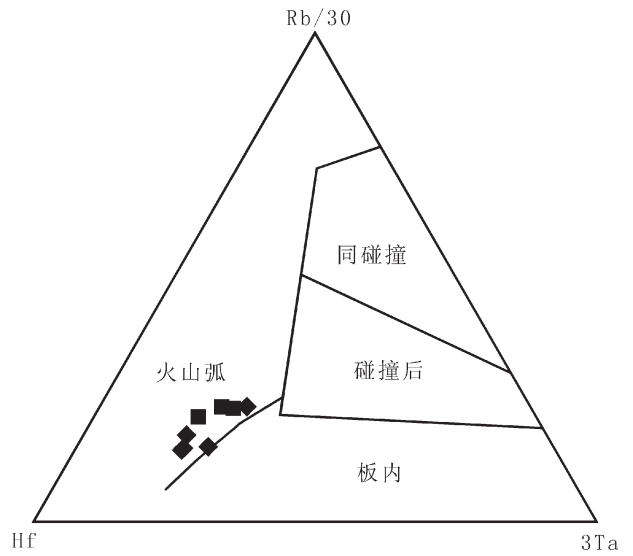


图 10 达布锡勒图岩体 Rb/30-Hf-3Ta 构造环境判别图解(据 Harris 等,1986<sup>[53]</sup>)

Fig.10 Rb/30-Hf-3Ta discrimination diagrams of tectonic setting of trace elements for Dabuxiletu pluton (after Harris et al.,1986<sup>[53]</sup>)

高的重稀土和 Y 含量,较低的(La/Yb)<sub>N</sub> 比值(<10)和 Sr/Y 比值;③微量元素方面,火山弧岩浆岩具有 Ti 的亏损,以及相对于 K 和 Pb 的 Nb 和 Ta 亏损;而埃达克岩具有明显的 Sr 富集<sup>[7]</sup>。

达布锡勒图岩体由闪长岩、石英闪长岩、花岗闪

长岩和花岗岩组成, 含具有相对较高的 HREE 含量 ( $3.66 < \text{LREE}/\text{HREE} < 5.66$ ) 和 Y 含量 ( $14.3 \times 10^{-6} \sim 47.6 \times 10^{-6}$ ), 较低的  $(\text{La}/\text{Yb})_N$  比值 (2.4~4.18) 和 Sr/Y 比值 (1.4~10.06), 具有显著的 Ti 亏损以及相对于 K 和 Pb 的 Nb 和 Ta 亏损, 轻微的 Sr 富集, 在  $\text{Yb}_N$ - $(\text{La}/\text{Yb})_N$  图解 (图 11) 中, 所有样品均落入典型的岛弧钙碱性岩区。综合以上特征, 研究区达布锡勒图岩体岩石属于火山弧岩浆岩, 而非埃达克岩。

此外, 达布锡勒图岩体稀土和微量元素含量及标准化配分型式, 都与大陆弧花岗岩接近, 与埃达克质花岗岩有明显差别。

综合达布锡勒图岩体成因类型、主微量元素判别图解和区别于埃达克岩的特征, 并结合研究区与岩浆活动有关岩石类型及特征分析: ①典型岩石类型及其组合为花岗闪长岩>花岗岩; ②伴生火山岩主要为大量的英安质和流纹质熔结凝灰岩; ③主要岩石系列为钙-碱性; ④铝饱和指数为偏铝质到过铝质。显示达布锡勒图岩体应产出出于俯冲汇聚大陆边缘的大陆弧构造环境<sup>[9]</sup>。

本文的研究结果显示苏尼特左旗南蛇绿混杂岩带以北晚二叠世存在洋陆俯冲作用形成的大陆弧花岗岩, 说明经苏尼特左旗南的缝合线无论是作为中、小块体的构造拼合带还是作为板块的构造对接带<sup>[4]</sup>, 其在晚二叠世并未闭合, 也间接说明华北板块与西伯利亚板块至少在晚二叠世仍未完全闭合。

达布锡勒图岩体花岗闪长岩类兼具 I 型和 S 型花岗岩成因, 成岩岩浆为上陆壳变杂砂岩和少量大洋俯冲板片的部分熔融, 花岗岩类为 S 型花岗岩成因类型, 为上陆壳变泥质岩部分熔融, 且具一定程度 A 型成因特征, 这些过渡成因和多源岩成分参与的特征也反映了其较为复杂的火山弧构造背景, 这些证据可能倾向于指示华北板块与西伯利亚板块之间的对接经历了多海岛环境或中、小块体的拼合过程<sup>[45]</sup>。

## 5 结 论

(1) 达布锡勒图岩体总体具硅铝碱含量中等至高 ( $\text{SiO}_2 = 67.72\% \sim 77.23\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 11.42\% \sim 14.61\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6.58\% \sim 8.16\%$ ), 相对富钠贫钾 ( $n(\text{Na}_2\text{O})/\text{K}_2\text{O} = 1.10 \sim 1.90 > 1$ ), 贫钙镁 ( $\text{CaO} = 0.17\% \sim 2.69\%$ ,  $\text{MgO} = 0 \sim 1.81\%$ ) 的特征。花岗闪长岩类为中-高钾偏铝质钙碱性岩, 花岗岩类为高-中钾过铝质碱性岩; 稀土元素总量偏低 ( $\text{REE} = 64.21 \times 10^{-6} \sim 169.31 \times 10^{-6}$ ),

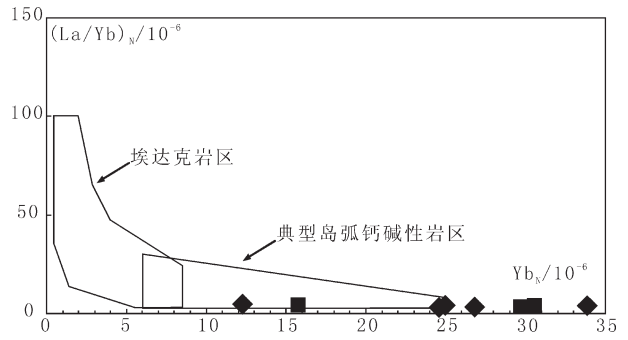


图 11 达布锡勒图岩体 La/Yb-Yb 构造环境判别图解 (据 Martin, 1999<sup>[54]</sup>)

Fig. 11 La/Yb-Yb discrimination diagrams of tectonic setting of trace elements for Dabuxiletu pluton (after Martin, 1999<sup>[54]</sup>)

轻重稀土分馏不显著 ( $\text{LREE}/\text{HREE} = 3.66 \sim 5.66$ ),  $(\text{La}/\text{Yb})_N = 2.40 \sim 4.18$ , 属轻稀土富集型 ( $\text{Sm}/\text{Nd} < 0.333$ ), 具有弱到中等程度的铕负异常 ( $\delta \text{Eu} = 0.25 \sim 0.91$ ); 富集大离子亲石元素 (如 Rb、Ba、Th、U、K 和 Sr) 和 Pb, 相对于 Rb、Th 和 K 亏损 Ba 和 U, 相对于 K 和 Pb 亏损 Nb 和 Ta, 亏损高场强元素 (如 P 和 Ti), 轻度富集 Zr 和 Hf。

(2) 源岩和成因类型: 花岗闪长岩类兼具 I 型和 S 型花岗岩特征, 可能来自于大洋俯冲板片与上覆成熟度较低的陆壳变杂砂岩部分熔融形成的混合岩浆冷却结晶; 花岗岩类为 S 型花岗岩, 具向 A 型花岗岩过渡特征, 原岩为陆壳变泥质岩。

(3) 部分熔融和结晶作用: 达布锡勒图岩体总体经历程度较低的部分熔融和结晶作用。黑云花岗闪长岩、二长花岗岩和黑云花岗岩的岩浆形成于含水条件下的低程度部分熔融; 花岗闪长岩和钾长花岗岩可能是分别由前者经历斜长石结晶分异之后的产物。

(4) 成岩构造环境: 达布锡勒图岩体为晚二叠世俯冲汇聚大陆边缘的大陆弧构造环境下产出的大陆弧花岗岩, 非埃达克质岩石。

**致谢:** 本文引用了内蒙古自治区地质矿产局该区域 1:20 万的部分区调成果, 在论文写作过程中得到康鸿杰、林志成、何文龙博士和董重同学热心的指导和帮助, 在此一并表示衷心的感谢!

## 参考文献 (Reference):

[1] 李朋武, 高锐, 崔军文, 等. 西藏和云南三江地区特提斯洋盆演化

- 历史的古地磁分析[J]. 地球学报, 2005, 26(5):387-404.
- Li Pengwu, Gao Rui, Cui Junwen, et al. Paleomagnetic results from the three Rivers Region, SW China: Implications for the collisional and accretionary history [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2005, 26(5): 387-404(in Chinese with English abstract).
- [2] 邵吉安. 中朝板块北缘中段地壳演化[M]. 北京: 北京大学出版社, 1991:108-115.
- Shao Jian. Crust Evolution in the Middle part of the Northern Margin of Sino-Korean Plate [M]. Beijing: Peking University Press, 1991:108-115(in Chinese).
- [3] 王成文, 孙跃武, 李宁, 等. 中国东北及邻区晚古生代地层分布规律的大地构造意义[J]. 中国科学(D 辑), 2009, 39(5):619-626.
- Wang Chengwen, Sun Yuewu, Li Ning, et al. Tectonic implications of Late Paleozoic stratigraphic distribution in Northeast China and adjacent region[J]. *Science in China (Series D)*, 2009, 39(5):619-626(in Chinese).
- [4] 李双林, 欧阳自远. 兴蒙造山带与邻区的构造格局和构造演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 1998, 18(3):45-54.
- Li Shuanglin, Ouyang Ziyuan. Tectonic framework and evolution of Xing'Anling- Mongolia orogenic belt (XMOB) and its adjacent region [J]. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 1998, 18(3): 45-54(in Chinese with English abstract).
- [5] 高计元, 王一先, 裘愉卓, 等. 内蒙古中西部多岛海构造演化[J]. 大地构造与成矿学, 2001, 25(4):397-404.
- Gao Jiyuan, Wang Yixian, Qiu Yuzhuo, et al. Islands-ocean structural evolution of mid-western continent in Inner Mongolia[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 2001, 25(4):397-404 (in Chinese with English abstract).
- [6] 徐备, Charvet J, 张福勤. 内蒙古北部苏尼特左旗蓝片岩岩石学和年代学研究[J]. 地质科学, 2001, 36(4):424-434.
- Xu Bei, J Charvet, Zhang Fuqin. Primary study on Petrology and Geochronology of Blueschists in Sonid Zuoqi, Northern Inner Mongolia [J]. *Scientia Geologica Sinica*, 2001, 36(4):424-434(in Chinese with English abstract).
- [7] 高德臻, 徐有华. 内蒙古苏尼特左旗韧性剪切带研究 [J]. 地质与勘探, 2000, 36(5):31-35.
- Gao Dezhen, Xu Youhua. Study of ductile shear zone in Sonid Zuoqi Inner Mongolia [J]. *Geology and Prospecting*, 2000, 36(5): 31-35(in Chinese with English abstract).
- [8] 蒋干清, 张维杰, 肖荣阁, 等. 内蒙古苏尼特左旗地区二叠纪地层的划分与对比[J]. 现代地质, 1995, 9(2):149-161.
- Jiang Ganqing, Zhang Weijie, Xiao Rongge, et al. Subdivision and correlation of Permian strata in Sonid Zuoqi area, Inner Mongolia [J]. *Geoscience*, 1995, 9(2):149-161 (in Chinese with English abstract).
- [9] 蒋干清, 徐元恺, 赵国春, 等. 内蒙古苏尼特左旗下二叠统大石寨组作用相与环境相序列演化[J]. 现代地质, 1995, 9(2):170-178.
- Jiang Ganqing, Zhang Weijie, Zhao Guochun, et al. Evolution of process-facies and environment-facies sequence of Permian Dashizhai Formation in Sonid Zuoqi area, Inner Mongolia [J]. *Geoscience*, 1995, 9(2):170-178(in Chinese with English abstract).
- [10] 蒋干清, 高德臻, 张维杰, 等. 内蒙古苏尼特左旗下二叠统哲斯组沉积组合类型及沉积序列演化[J]. 现代地质, 1995, 9(2):162-169.
- Jiang Ganqing, Gao Dezhen, Zhang Weijie, et al. Patterns of sedimentary associations and evolution of Zhesi formation in Sonid Zuoqi, Inner Mongolia [J]. *Geoscience*, 1995, 9(2):162-169(in Chinese with English abstract).
- [11] 赵芝. 内蒙古大石寨地区早二叠世大石寨组火山岩的地球化学特征及其构造环境[D]. 吉林大学博士学位论文, 2008.
- Zhao Zhi. Geochemistry and Tectonic Setting of the Volcanic Rocks of Early Permian Dashizhai Formation in Dashizhai Area, Inner Mongolia[D]. Jilin University, 2008(in Chinese with English abstract).
- [12] 尚庆华. 北方造山带内内蒙古中、东部地区二叠纪放射虫的发现及意义[J]. 科学通报, 2004, 49(24):2574-2579.
- Shang Qinghua. Occurrences of Permian radiolarians in central and eastern Nei Mongol (Inner Mongolia) and their geological significance to the Northern China Orogen [J]. *Chinese Science Bulletin*, 49(24):2574-2579(in Chinese).
- [13] 罗照华, 邓晋福, 罗飞, 等. 内蒙古中部深成侵入岩谱系单位及构造岩浆活动初探[J]. 现代地质, 1995, 9(2):189-202.
- Luo Zhaohua, Deng Jinfu, Luo Fei, et al. On divisions of plutonic masses in the central Inner Mongolia and its tectomagmatic Activity [J]. *Geoscience*, 1995, 9(2):189-202 (in Chinese with English abstract).
- [14] 李玉文, 邓晋福, 罗照华, 等. 内蒙古苏尼特左旗地区堆晶角闪辉长岩的发现及地质意义[J]. 现代地质, 1995, 9(2):212-219.
- Li Yuwen, Deng Jinfu, Luo Zhaohua, et al. Discovery of Cumulus crystal Bojite and its significance in area, Mongolia [J]. *Geoscience*, 1995, 9(2):212-219(in Chinese with English abstract).
- [15] 石玉若, 刘敦一, 简平, 等. 内蒙古中部苏尼特左旗富钾花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2005, 24(5):424-428.
- Shi Yuruo, Liu Dunyi, Jian Ping, et al. Zircon SHRIMP dating of K-rich granites in Sonid Zuoqi, central Inner Mongolia [J]. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24(5):424-428 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陈斌, 赵国春, Wilde S. 内蒙苏尼特左旗南与俯冲和碰撞有关的两类花岗岩的同位素年代学及其构造意义 [J]. 地质论评, 2001, 47(4):361-367.
- Chen Bin, Zhao Guochun, Simon Wilde. Subduction-related and collision-related granitoids from southern Sonidzuoqi, Inner Mongolia: Isotopic ages and tectonic implications [J]. *Geological Review*, 2001, 47(4):361-367(in Chinese with English abstract).
- [17] 陈斌. 内蒙古苏尼特左旗南白音宝力道岩体特征与成因——是岛弧岩浆岩而不是埃达克岩 [J]. 地质论评, 2002, 48(3), 261-266.
- Chen Bin. Characteristics and genesis of the Bayan bold pluton in southern Sonid Zuoqi, Inner Mongolia——typical island arc magmatic rocks instead of adakitic rocks [J]. *Geological Review*,

- 2002, 48(3):261-265(in Chinese with English abstract).
- [18] 石玉若, 刘敦一, 张旗, 等. 内蒙古中部苏尼特左旗地区三叠纪 A 型花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其区域构造[J]. 地质通报, 2007, 26(2):183-189.  
Shi Yuruo, Liu Dunyi, Zhang Qi, et al. SHRIMP U-Pb zircon dating of Triassic A-type granites in Sonid Zuoqi, central Inner Mongolia, China, and its tectonic implications[J]. Geological Bulletin of China, 2007, 26(2):183-189(in Chinese with English abstract).
- [19] 施光海, 苗来成, 张福勤, 等. 内蒙古锡林浩特 A 型花岗岩的时代及区域构造意义[J]. 科学通报, 2004, 49(4):384-389.  
Shi Guanghai, Miao Laicheng, Zhang Fuqin, et al. The times of A-type granites in Xilinhaote, Inner Mongolia, and its regional tectonic significance[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(4):384-389(in Chinese).
- [20] 张玉清. 内蒙古苏尼特左旗巴音乌拉二叠纪埃达克质花岗闪长岩类地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2009, 28(4):329-338.  
Zhang Yuqing. Geochemical characteristics of Permian adakitic granodiorite in Bayinwula of Sonid Left Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Petrologica Et Mineralogica, 2009, 28(4):329-338(in Chinese with English abstract).
- [21] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991:589-609.  
Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Bureau. Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1991:589-609(in Chinese).
- [22] 内蒙古自治区地质矿产局. 内蒙古自治区岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1996:46, 263-264.  
Geology and Mineral Resources of Inner Mongolia Bureau. Inner Mongolia Autonomous Region lithostratigraphic [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1996:46, 263-264(in Chinese).
- [23] 周志广, 谷永昌, 柳长峰, 等. 内蒙古东乌珠穆沁旗满都胡宝拉格地区早—中二叠世华夏植物群的发现及地质意义[J]. 地质通报, 2010, 29(1):21-25.  
Zhou Zhiguang, Gu Yongchang, Liu Changfeng, et al. Discovery of Early-Middle Permian Cathaysian flora in Manduhubaolage area, Dong Ujimqin Qi, Inner Mongolia, China and its geological significance[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(12):21-25(in Chinese with English abstract).
- [24] 张炯飞, 权恒, 武广, 等. 东北地区中生代火山岩形成的构造环境[J]. 贵金属地质, 2000, (1):33-38.  
Zhang Jiongfei, Quan Heng, Wu Guang, et al. Tectonic setting of mesozoic volcanic rocks in Northeast China [J]. Journal of Precious Metallic Geology, 2000, 9(1):33-38(in Chinese with English abstract).
- [25] 才书林, 李洁, 谔义. X 射线荧光光谱法在区域化探中的应用[J]. 分析试验室, 1986, 5(12):5-13.  
Cai Shulin, Li Jie, Lu Yi, et al. X-ray fluorescence spectrometry in regional geochemical exploration [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 1986, 5(12):5-13(in Chinese with English abstract).
- [26] 李国会, 许力, 张运国, 等. 水系沉积物中 25 个主元素和微量元素的 X 射线荧光光谱法测定[J]. 岩矿测试, 1987, 6(1):15-23.  
Li Guohui, Xu Li, Zhang Yunguo, et al. X-Ray fluorescence spectrometric determination of twenty five major and trace elements in stream sediments [J]. Rock and Mineral Analysis, 1987, 6(1):15-23(in Chinese with English abstract).
- [27] 谭小宁, 严志远, 贺继春. X-射线荧光光谱仪熔片法测定硅酸盐中主量元素[J]. 福建分析测试, 2006, 15(3):23-25.  
Tan Xiaoning, Yan Zhiyuan, He Jichun, et al. The melting method for determination of the main elements in silicate with the X-ray fluorescent instrument [J]. Fujian Analysis and Testing, 2006, 15(3):23-25(in Chinese with English abstract).
- [28] 刘颖, 刘海臣, 李献华. 用 ICP-MS 准确测定岩石样品中的 40 余种微量元素[J]. 地球化学, 1996, 25(6):552-558.  
Liu Yin, Liu Haicheng, Li Xianhua. Simultaneous and precise determination of 40 trace elements in rock samples using ICP-MS [J]. Geochimica, 1996, 25(6):552-558.
- [29] Le Maitre R. W. Some problems of the projection of chemical data in mineralogical classifications [J]. Contrib. Mineral. Petrol., 1976, 56:181-189(in Chinese with English abstract).
- [30] Wright J. B. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis [J]. Geological Magazine, 1969, 106:370-384.
- [31] Peccerillo R, Taylor S. R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey [J]. Contrib. Mineral. Petrol, 1976, 76:58:63-81.
- [32] Taylor S. R. The continental crust: its composition and evolution [J]. London: Blackwell, 1985, 57-72.
- [33] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京:地质出版社, 2002:172-191.  
Xiao Qinghui, Deng Jingfu, Ma Dashuan, et al. Granite Research of Thinking and Methods [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2002:172-191(in Chinese).
- [34] Sun S-s, McDonough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes [C]//Saunders A. D, Norry M. J (eds.). Magmatism in the Ocean Basins. Geological Society, London, Special Publications, 1989, 42:313-345.
- [35] 邱瑞龙. 九华山花岗岩岩浆分异特征及岩石成因[J]. 岩石矿物学杂志, 1998, 17(4):308-315.  
Qiu Ruilong. Magmatic differentiation and genesis of Jiuhuashan granite [J]. Acta Petrologica Et Mineralogica. 1998, 17(4):308-315(in Chinese with English abstract).
- [36] 涂光炽, 等. 地球化学 [M]. 上海:上海科学技术出版社, 1984:226-227.  
Tu Guangzhi, et al. Geochemistry [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 1984:226-227(in Chinese).
- [37] 张金阳, 马昌前, 余振兵, 等. 大别造山带北部铁佛寺早古生代同碰撞型花岗岩: 地球化学和年代学证据[J]. 中国科学(D 辑): 地

- 球科学, 2007, 37(1):1-9.
- Zhang Jingyang, Ma Changqian, She Zhenbing, et al. the Early Paleozoic collision-type granites of Tiefosi Temple in the north part of the Dabie orogenic belt: evidence of geochemistry and geochronology [J]. Science in China (Series D): Earth Sciences, 2007, 37(1):1-9(in Chinese).
- [38] 邱家骥主编. 岩浆岩岩石学[M]. 北京:地质出版社, 1985:220.
- Qiu Jiaxiang. Magmatic Petrology [M]. Beijing:Geological Publishing House, 1985:220(in Chinese).
- [39] 陈俊, 王鹤年. 地球化学[M]. 北京:科学出版社, 2004:361-363.
- Chen Jun, Wang Henian. Geochemistry[M]. Beijing:Science Press, 2004:361-363(in Chinese).
- [40] 陈德潜, 陈刚. 实用稀土地球化学 [M]. 北京:冶金工业出版社, 1990:226-242.
- Chen Deqian, Chen Gang. Practical Rare Earth Geochemistry[M]. Beijing:Metallurgy Industry Press, 1990:226-242(in Chinese).
- [41] Chappell B W. Aluminium saturation in I- and S-type plutons and the characterization of fractionated haploplutons [J]. Lithos, 1999, 46:535-551.
- [42] 朱弟成, 莫宣学, 王立全, 等. 西藏冈底斯东部察隅高分异 I 型花岗岩的成因: 锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Sr-Nd-Hf 同位素约束[J]. 中国科学(D 辑):地球科学, 2009, 39(7):833-848.
- Zhu Dicheng, Mo Xuanxue, Wang Liquan, et al. Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the Chayu area of eastern Gangdese, Tibet: Constraints from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes [J]. Science in China (Series D)-Earth Sci, 2009, 39(7):833-848(in Chinese).
- [43] Chappell B J, White A J R. Two Contrasting Granite Types [J]. Pacific Geology, v.8:173-174.
- [44] 张旗, 王焰, 潘国强, 等. 花岗岩源岩问题——关于花岗岩研究的思考之四[J]. 岩石学报, 2008, 24(6):1193-1204.
- Zhang Qi, Wang Yan, Pan Guoqiang, et al. Sources of granites: some crucial questions on granite study (4) [J]. Acta Petrologica Sinica, 2008, 24(6):1193-1204(in Chinese with English abstract).
- [45] 牟保磊. 元素地球化学[M]. 北京:北京大学出版社, 1999:122-165.
- Mou Baolei. Geochemistry of Element [M]. Beijing:Peking University Press, 1999:122-165(in Chinese).
- [46] Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites [J]. Lithos, 1998, 45(1):29-44.
- [47] Altherr R, Holl A, Hegner E, et al. High-potassium, calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides; northern Vosges (France) and northern Schwarzwald(Germany)[J]. Lithos, 2000, 50:51-73.
- [48] 朱永峰, 张立飞, 古丽冰, 等. 西天山石炭纪火山岩 SHRIMP 年代学及其微量元素地球化学研究 [J]. 科学通报, 2005, 50(18):2004-2014.
- Zhu Yongfeng, Zhang Lifei, Gu Libing, et al. Research on SHRIMP geochronology, geochemistry and trace elements of Carboniferous volcanic rocks in the west part of Tianshan Mountain [J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50 (18):2004-2014 (in Chinese).
- [49] 赵振华. 关于岩石微量元素构造环境判别图解使用的有关问题 [J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1):92-103.
- Zhao Zhenhua. How to use the trace element diagrams to discriminate tectonic settings[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2007, 31(1):92-103(in Chinese with English abstract).
- [50] Pearce J A. Source and settings of granitic rocks [J]. Episodes, 1996, 19:120-125.
- [51] Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1989, 101:635-643.
- [52] Pearce J A. Source and settings of granitic rocks[J]. Episodes, 1996, 19:120-125.
- [53] Harris N B W, Pearce J A, Tindla A G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism [C]// Coward M P, Reis A C (eds). Collision tectonics. Geol Soc Spec Publ, 1986, 19:67-81.
- [54] Martin H. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids[J]. Lithos, 1999, 46:411-429.

## Major and trace element geochemical characteristics and petrogenesis of Dabuxiletu pluton in the north part of Sonid Left Banner, Inner Mongolia

YANG Yong-sheng, SUN Bai-nian, KANG Hong-jie,

XING Wei-wei, LI Xiao-qiang, HE Wen-long, WANG Lei

(College of Earth and Environment Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, Gansu, China)

**Abstract:** Content and characteristic numerical values of major and trace elements contain much genetic information, such as source region, evolution and formation environment of magma. The Dabuxile pluton is located near the northern side of the Erlian-Hegenshan suture belt that is part of the suture zone of the North China plate and the Siberian plate (Xing-Meng orogenic zone). Sampling of all rock types of the pluton was conducted to analyze content of REE and trace elements, and the results show that granodiorites composed of biotite granodiorite and granodiorite are genetically of I-S transitional type granite, whose rock-forming magma might have resulted from subducted oceanic slab and metagreywacke of the overlying partly-melted continental crust. Granites composed of monzogranite, biotite granite and potassium feldspar granite are genetically of S-type granites, whose rock-forming magma might have been derived from metamorphic pelite. The two types of granites were both generated from the continental arc, and are not adakitic rocks.

**Key words:** Sonid Left Banner; Dabuxiletu pluton; I-type granite; S-type granite; continental arc

---

**About the first author:** YANG Yong-sheng, male, born in 1985, master candidate, specializes in regional geological survey and resource exploration; E-mail: yangysh04@163.com.